Les ponts en bois, mythe ou possibilité ?

Professeur Pascal TRIBOULOT
Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)
Directeur honoraire de l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies
et Industries du Bois, EPINAL,
Université Henri Poincaré, Nancy Université (France).
Département des sciences fondamentales
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi (Québec) CANADA, G7H 2B1

Dominique CALVI
Ingénieur Conseil, Structures Bois
Professeur associé à l'ENSTIB
12, boulevard du Nord
30133 LES ANGLES (France)

Résumé :

Le bois occupe dans l'histoire des ponts une place essentielle.
Dans la nuit des temps, il a été le matériau dominant pour franchir les obstacles que la nature avait mis sur la route des hommes en mouvement. Partant du principe que les matériaux les plus modernes sont forcément les plus adaptés, le bois s'est, dans les derniers siècles, estompé au profit de l'acier et du béton.
Dans la vieille Europe, les dernières décennies ont vu un retour, certes encore timide, mais bien visible, du bois utilisé en structures porteuses dans les ouvrages d'art. On compte 975 ponts en bois en Suisse, une dizaine en France.
Une nouvelle préoccupation a remis le bois dans le paysage des ponts. C'est incontestablement la dimension environnementale et l'analyse des cycles de vie qui en sont la raison. Mais c'est aussi, et avant tout une nouvelle approche sur la conception, la durabilité, la disponibilité, les performances structurelles du matériau qui expliquent ce retour. L'Association Française de Génie Civil, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois travaillent ensemble en France sur une nouvelle approche basée principalement sur la mixité bois – béton dans la conception et les performances des ponts. C'est ce panorama et ces réflexions qui sont proposées ici et qui s'appuiera sur quelques exemples de réalisations.

Introduction :

En Amérique du Nord, les ouvrages en bois ont été courants, ils jouaient un rôle structurel et économique. Ils ont doucement cessé d'être construits.
Dans les pays à culture saxonne (Suisse alémanique, Allemagne, Autriche), ils n'ont jamais tout à fait cessé d'exister et des ponts modernes voient le jour.
Dans les pays latins, où le béton est roi, les ponts en bois ont été tout au plus une anecdote, ils n'existent plus, ou plus exactement, ils n'existaient plus. En France, la prestigieuse Ecole des Ponts[1] (ENPC, devenue Ecole des Ponts Paris Tech.) a réintégré le bois dans son

[1] La mise en place d'une formation spécifique aux ponts fut décidée par l'arrêt du Roi du 14 février 1747, acte fondateur de l'Ecole. Et jusqu'en 1794, l'Ecole fut marquée par la personnalité de son directeur, Jean-Rodolphe Perronet, à la fois ingénieur, administrateur talentueux et érudit participant à l'élaboration de l'Encyclopédie de d'Alembert et Diderot. L'enseignement se structura peu à peu et les ingénieurs des Ponts et Chaussées accrurent progressivement leurs prérogatives en s'adjugeant un quasi monopole sur l'aménagement du territoire. L'Ecole Polytechnique vit le jour en 1795 et l'Ecole des Ponts fut conservée comme école d'application.

cursus de formation, depuis une petite dizaine d'années. L'ENPC considérant par là que ce matériau, dans un contexte de développement durable, avait toute sa place. Le bois n'est plus alors qu'uniquement un matériau de coffrage, il redevient ce qu'il a toujours été : un matériau de structures.

Pourtant, le bois a toujours eu un rôle considérable, pour ne pas dire unique, dans l'histoire des structures d'ouvrages d'art : il a été à l'origine de la majorité des modes de structures nouveaux…**Il montrait la voie**.
Aujourd'hui, un des plus grands challenge de l'humanité porte sur la maîtrise et la protection de notre environnement. Dans ce nouveau contexte, le bois devient l'un des matériaux de structure les mieux adaptés…**Il montre la voie**.

1. Le bois, matériau de structure pour les ponts ?

Pour répondre positivement à cette question, qui sous-entend les capacités nécessaires de résistance, d'assemblages et de durabilité, il convient tout d'abord de dresser un bilan historique des ponts en bois et du rôle tout à fait particulier joué par ce matériau dans l'évolution des ouvrages d'art. Il conviendra ensuite d'en analyser les caractéristiques essentielles actuellement maîtrisées puis de se projeter dans l'avenir.

1.1. Historique :

On peut passer rapidement sur les ponts en bois construits dès l'antiquité, et même pour certains, aussi vieux que l'homo sapiens. D'abord construits en rondins en guise de poutres sur 2 appuis, recouverts de platelage de terre, de branchages et de pierres, cette technique peut encore être vue ici et là, dans le domaine d'ouvrages éphémères se contentant d'utiliser ce qui est disponible pour franchir un obstacle. Les appuis sont en pierre ou en pieux battus, les travées sont forcément courtes.
L'histoire nous rapporte quelques ouvrages très importants de ce type, construits plus de vingt siècles avant J.C., sur le Nil et l'Euphrate, ils ont été décrits par Hérodote. Plus récemment, on peut citer le pont Sublicius sur le Tibre à Rome, célèbre pour la défense de son passage mené par Horatius Coclès en 630 avant J.C. Une autre méthode s'est ensuite développée, principalement dans le domaine militaire. Elle consistait à remplacer les piles par un grand nombre de bateaux reliés entre eux. L'histoire nous fait connaître ainsi les ponts construits au VIème siècle avant J.C. par Darius sur le Bosphore ou, au siècle suivant, par son fils Xerxès sur les Dardanelles. Ce dernier pont comportait 674 bateaux en deux rangées pour franchir l'obstacle de plus de 1 500 m.
Les premières améliorations structurelles datent des romains. Jules César fit réaliser en 55 avant J.C. un pont de 400 m, en seulement 8 jours, pour traverser le Rhin à Cologne. Ce pont était constitué de poutres sur des traverses assemblées en tête de deux doubles pieux obliques. Les romains créent ainsi les premiers ponts à béquille avec poussée, en introduisant des jambes de force obliques sous les poutres.
Les romains utilisèrent aussi le bois pour créer des structures en arc, en particulier pour le fameux pont construit en 103 par Appolodore de Damas. Ce pont était long de 1 100 m avec des travées de 35 m supportées par des piles maçonnées.

En Asie, les ponts suspendus semblent dater de temps immémoriaux. L'idée est sans doute née dans les forêts tropicales des pentes indiennes ou chinoise de l'Himalaya. On y

trouvait, et on trouve encore, des ponts dont les suspentes sont faites de lianes ou de filaments d'un arbre des montagnes : *l'Eriophorum comosum*. On y trouve même des ponts vivants…Ces derniers sont constitués des racines du figuier élastique (*Ficus elastica*). On choisissait les extrémités des racines flexibles de cet arbre immense que l'on tendait de l'autre côté de la rivière où elles poursuivaient leur croissance.
En Chine, où l'industrie métallurgique a été développée dès le 2ème siècle avant J.C., les suspentes végétales furent rapidement concurrencées par des chaînes métalliques. Les plus anciennes connues datent de l'an 65.
C'est en Asie également qu'apparaissent les premières structures caractéristiques en cantilever, permettant de compenser la longueur trop faible des troncs.

La durée de vie de ces anciens ponts a presque toujours été modeste, montrant les problèmes de durabilité des essences communes de bois exposées aux intempéries. Leur connaissance ne nous est parvenue qu'à travers des écrits, des dessins ou des bas-reliefs, alors que dans le même temps ont subsisté des ponts en pierre de plus de 2 000 ans.

La prise de conscience de la nécessaire protection :

Si la pourriture était le principal facteur limitant la vie en service des ponts en bois, les charpentiers apprirent dès le moyen âge à préserver les structures par des dispositions constructives adéquates que nous prouvent les très nombreux immeubles en bois datant de plus de 500 ans. Ainsi sont apparus, principalement en Suisse, les ponts couverts à bardage latéral, seule méthode possible à l'époque pour protéger les structures porteuses de l'eau. Le pont de la Chapelle à Lucerne, datant de 1333 (678 ans aujourd'hui…) en est l'un des plus beaux exemples. On peut citer également les ponts construits par l'état de Berne au 16ème siècle (Neubrügg, Gümmenen, Wangen, Aarberg…). Ces ponts sont pour la plupart encore en bon état, la plupart avec leurs structures principales d'origine, toujours en service, ouvert au trafic léger après avoir été ouverts à toute charge jusqu'il y a une quarantaine d'année.

Parfois, la protection avait des racines culturelles, comme le magnifique pont Kintai-Bashi à Iwakuri au Japon.





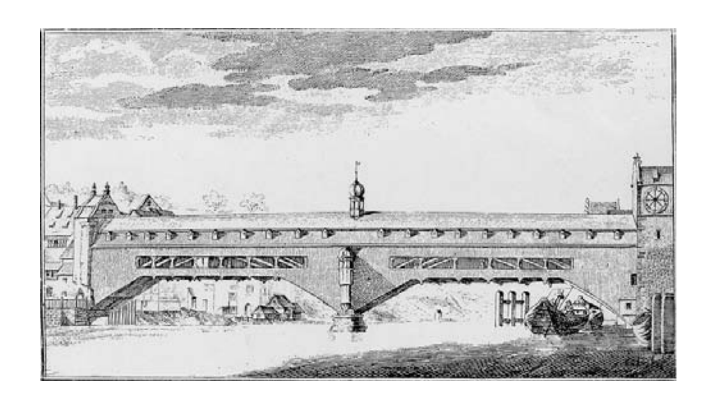
Ce pont a été construit en 1673 et seulement reconstruit à l'identique en 1953. Le tablier des quatre arches est en dos d'âne pour arrêter les charges de cavalerie. Il a la forme courante des ponts de bois chinois des temples shinto.

La forme et les lames à recouvrement contribuent à une excellente évacuation de l'eau.

En France, la prise de conscience de l'obligation de protection date de la 2ème partie du 18ème siècle, où Jean-Rodolphe Perronet, fondateur et directeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées décrivait en 1773 une méthode de recouvrement des éléments en bois à partir de feuilles de plomb.

L'évolution des techniques :

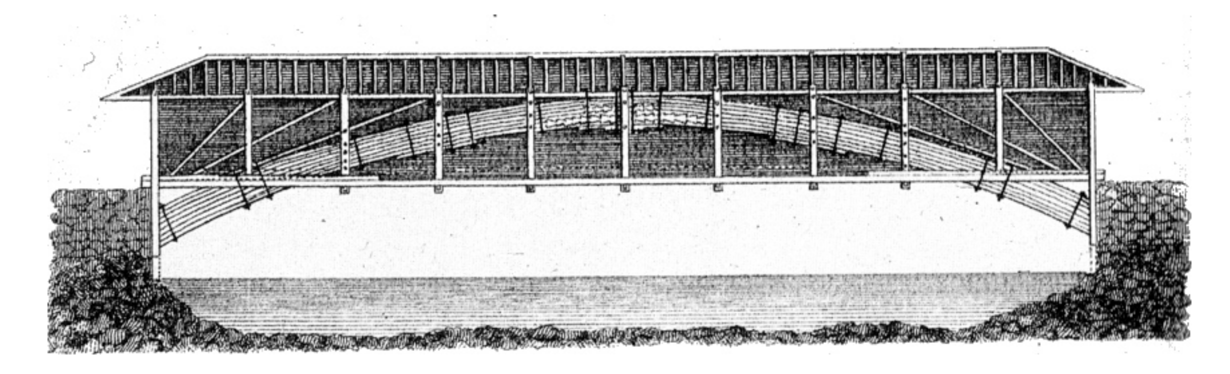
Les 18ème et 19ème siècles voient l'apparition de structures en bois plus osées et plus modernes, d'abord en Europe, puis aux Etats-Unis. Dans ce registre, Hans-Ulrich Grubenmann proposa à la ville de Schaffhouse, en Suisse, de remplacer un pont en maçonnerie emporté par le Rhin par un pont en bois d'une seule portée de 120 m. La ville fit preuve de prudence en lui demandant de réutiliser la pile en pierre intermédiaire existante au milieu du Rhin. Le pont fut donc construit en 2 travées et supporta un trafic important avec des charges courantes de plus de 25 tonnes. L'histoire dit, que peu après l'inauguration en 1758, Hans-Ulrich Grubenmann aurait retiré les cales de la pile centrale pour prouver qu'il avait raison…



Ce pont, sans doute le plus extraordinaire jamais construit par rapport aux connaissances de l'époque, fut volontairement incendié par les troupes françaises en 1799.
Si plusieurs ponts ont péri du feu en Europe, c'est presque toujours pour faits de guerre

Les grands arcs apparaissent dans la seconde moitié du 18ème siècle. Les plus caractéristiques sont :

- Le pont de Wettingen en Suisse, encore de Hans-Ulrich Grubenmann, construit en 1766 pour une portée de 61 m. La structure porteuse est constituée de 7 lits de poutres cintrées longitudinalement, assemblées et cerclées pour former un arc « lamellé ».



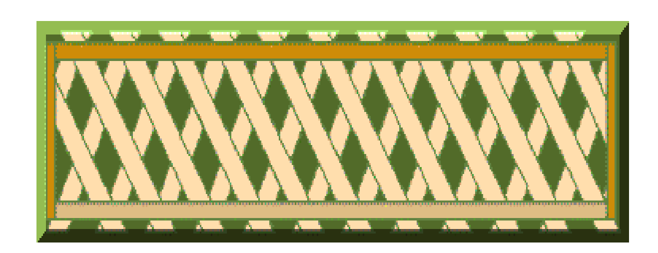
- Le pont Colossus Bridge à Fairmount aux USA en 1811, d'une portée de 103 m, construit par Lewis Wernwag, ce pont en arc à membrures parallèles est très proche

de la conception imaginée par Andrea Palladio qui décrit en 1570 des structures treillis en arc dans *I Quattro Libri dell'Archittetura*.

- Le pont de Mc Calls Ferry en Pennsylvanie, en 1815, d'une portée de 110 m et construit par Théodore Burr. Ce pont associait arc et treillis et constituait le record de portée libre.

Les ponts à structure principale en treillis et l'apparition des structures mixtes :

L'inventeur du treillis moderne est Ithiel Town, il suspendit le premier un tablier à deux fermes constituées de croix de Saint André multiples et déposa un brevet sur cette technique en 1820.



Dix ans plus tard, le colonel Stephen Long inventa une ferme plus simple de treillis en créant ce qui pourrait s'appeler aujourd'hui les poutres à montants et croix de St André. Avec l'avènement du chemin de fer, ce fût sans doute William Howe qui devint le plus célèbre, en utilisant la même structure, mais en remplaçant les montants verticaux par des éléments en acier moulé. Ce matériau était considéré, à l'époque, comme plus apte à absorber les efforts de traction imposés par le passage des trains.

Les ponts suspendus :

C'est le bois qui a été utilisé pour les treillis et les tabliers des premiers ponts suspendus avec treillis rigides en 1808 par Jude James Finley. Puis ce fut uniquement le tablier, c'est le cas du pont Union Bridge reliant l'Ecosse et l'Angleterre et construit en 1820 par Samuel Brown.



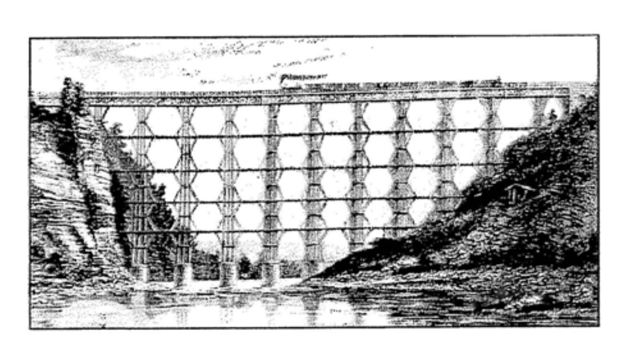
Dans ce type de mise en œuvre, le bois fut ensuite oublié, sauf dans quelques exceptions, montrant que de grands ponts suspendus en bois restaient possibles. C'est le cas du pont Ojuela au Mexique, construit en 1892 avec une portée de 278 m.

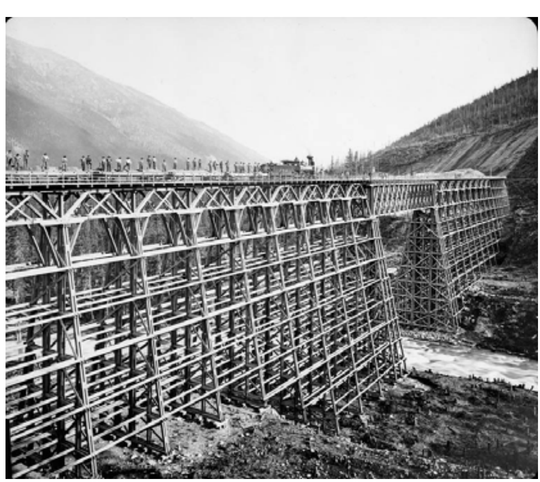
Il est maintenant utilisé comme pont piétonnier.

Les ponts de chemin de fer :

De très nombreux ponts de chemin de fer ont été réalisés en bois, en France : pont d'Asnières en 1837, puis ponts de Bezons et de Maisons Laffite sur la ligne Paris-Rouen. Mais c'est surtout en Angleterre que cette typologie se développe. Isambard Kingdom Brunel est à cet égard considéré comme le plus grand ingénieur anglais des structures en bois. Dans la seule année 1859, 34 viaducs furent mis en service entre Plymouth et Truro, ils étaient tous en bois. Brunel dessina chaque pont avec une structure mécaniquement différente, on était bien loin du « copié-collé » que l'on retrouve bien trop souvent aujourd'hui. Il mis au point de simples poutres courtes, des complexes en arc « bow-string » de 35 m de portée, des structures en treillis ou des ponts à béquilles multiples. Le tout sur des piles toujours différentes, en bois en pierre ou mixtes. Le dernier de ses ponts disparu en 1934, mais les derniers ponts de chemin de fer anglais en bois durèrent plus longtemps : le pont de Dove existait encore en 1940, le dernier viaduc du Pays de Galle du Sud fut détruit en 1947 après 1 siècle de service, non pas pour insuffisance, mais pour créer un embranchement. Le viaduc de Bartmouth semble encore en service après plus de 100 ans. Pourtant, à cette époque, la plupart de ces structures avait pour origine le faible coût initial imposé par les maîtres d'ouvrage. Ceux-ci n'étaient pas assurés du développement et de l'avenir de ce mode de transport. Certains ponts ont été construits en moins de 6 semaines et la plupart sans protection à l'eau, augmentant ainsi leurs coûts de maintenance et raccourcissant leur durée de vie.

Pendant ce temps, en Amérique du Nord, américains et canadiens construisent des viaducs à chevalets, sur piles multiples, reliés par des croix de Saint André, dont le chef-d'œuvre fut le viaduc de Portage construit en 1852 en une seule année par Sylas Seymour. Ce viaduc avait 267 m de long, une largeur de 8 m et 28 m à la base. Les piles avaient 80 m de hauteur. Le dessin ci-dessous à gauche représente ce viaduc de Portage. La photographie de droite est caractéristique de ces milliers d'ouvrages construits au Canada.





Cette période a été le siècle des lumières pour le bois en Amérique du Nord, même si les connaissances sur ce matériau restaient réduites. De nombreux ponts à chevalets avec des poteaux presque verticaux mais protégés en tête, des ponts couverts ont largement passé l'épreuve du temps. 91 ponts couverts ont été dénombré dans le seul état d'Indiana. Sur ce point l'Europe, et la France en particulier s'étaient largement endormis.

1870 – 1970, la traversée du désert :

L'engouement créé par l'avènement et l'amélioration des nouveaux matériaux que furent l'acier et les bétons armés puis précontraints, l'exploration des innombrables formes et modes de structures auxquels ils donnaient accès avec des portées de plus en plus grandes, éloignèrent les grands concepteurs des structures en bois.
Dans cette période, presque tous les ponts construits l'ont été dans ces nouveaux matériaux à résistance mécanique plus élevée et auxquels on attribua une durée de vie en service quasi illimitée.

Depuis, avec la plus grande importance et les plus grandes charges de trafic, avec les besoins de sécurité nécessaires tout au long du service des ponts, des problèmes sont apparus aussi avec ces matériaux : problèmes de corrosion, de pénétration d'eau, acidité due au salage…etc. Les coûts de maintenance, la protection des ouvrages métalliques, aussi bien que celle des ponts en béton armé ou précontraint, dont le démontage reste la plupart du temps très coûteux, ont amené à se réinterroger sur l'utilisation du bois.

Pendant cette période où le bois a été quasiment totalement absent :

- Le lamellé-collé est apparu, donnant accès aux grandes sections et aux grandes longueurs de bois homogènes, ainsi qu'aux formes cintrées.
- Les connaissances mécaniques et de comportement sur le bois ont fait un bond, surtout depuis l'utilisation du matériau dans l'aviation, où, après avoir disparu des modèles normaux, il est encore utilisé dans les meilleurs avions d'acrobatie.
- Les produits et modes de traitement des bois se sont considérablement améliorés.

1968 – 1990, le renouveau :

Il est normal que les premiers ponts modernes en bois soient apparus aux USA qui n'avaient jamais cessé de faire des ouvrages d'art pour routes et chemin de fer avec ce matériau. En 1968, apparait aux Etats-Unis, le premier pont en bois « moderne ». C'est un pont porteur d'autoroute de 58 m de portée, non couvert, mais utilisant la chaussée comme protection. La structure principale est constituée d'arcs à 3 articulations en lamellé-collé.
Dans les mêmes années y apparaissent les premiers ponts avec tabliers en bois plein lamellé-cloué, puis dans les années 80 lamellé-collé, constitués de poutres à plat d'abord liées transversalement puis précontraintes. Cette technique de la précontrainte avec le bois avait été réalisée pour la première fois au Canada pour réparer un tablier de bois massif lamellé-cloué.

Puis sont apparus les premiers ponts à tablier composite bois-béton.

En Europe, c'est en Suisse, dans les années 1975, puis en Allemagne dans les années 80 que l'on trouve les premiers nouveaux ponts routiers européens utilisant le bois. Ce nouveau développement se fait sur la base de formes anciennes (ponts couverts), mais avec une technologie moderne. Dès le milieu des années 80 apparaissent en Europe les premiers ponts non couverts, ils sont, dans cette période là, souvent à charge limitée.
La fin des années 80 et les années 90 ont vu se multiplier les passerelles en bois. Parmi les plus intéressantes, dans cette période de redécouverte du bois on peut citer : la passerelle sur l'Inn dans le Tyrol (122 m, treillis couvert), la passerelle à haubans près de Limburg en

Allemagne (145 m), la passerelle sur le Doubs en France, celle de Wernau encore en Allemagne.
Les deux illustrations suivantes concernent la passerelle en chaînette d'Essing en Allemagne. Elle est d'une portée principale de 75 m.





Pour en revenir aux ponts routiers, les anciennes structures continuent à être construites. A partir de 1990 apparaissent des ponts plus modernes, couverts ou non, utilisant alors la chaussée étanchée comme protection.

1.2. Le bois matériau à ponts :

L'histoire décrite a bien montré bien la capacité du matériau bois à construire des ponts, il l'a toujours fait et depuis la nuit des temps :

- Capacité structurelle, des ponts de plus de 100 m de portée ayant été construits dès le début du 19ème siècle,
- Aptitude à durer, puisque le plus vieux pont en excellent état a atteint 678 ans…(Pont de la Chapelle à Luzerne en Suisse)

Les matériaux maintenant disponibles, des sections de plus d'1 m^2 ont été collées avec succès et de plus importantes sont possibles sans difficultés technologiques majeures, des dérivés du bois homogénéisés et à caractéristiques mécaniques plus élevées sont maintenant utilisables , la connaissance du, ou plutôt des matériaux, la connaissance technologique du comportement et des dispositions constructives à respecter, la qualité des traitements, la mixité possible avec d'autres matériaux (acier, béton) permettent sans aucune appréhension, et avec une grande sûreté, de construire des ouvrages d'art dans lesquels le bois a un rôle structurel.

Le feu :

Il est utile de rappeler qu'un certain nombre d'ouvrages anciens ont péri de cette façon. Il est également utile de rappeler que beaucoup, sinon la majorité, ont péri en Europe de faits de guerre, ou, pour ce qui concerne les chemins de fer, des escarbilles que jetaient les machines à vapeur. Rappelons aussi que les sections de bois massif étaient très inférieures à celles du bois lamellé-collé maintenant utilisé : une section de 42 x 42,9 cm, très courante

pour ne pas dire faible dans les structures actuelles, sollicitée à son maximum de traction autorisé (275 tonnes sous charge dynamique ultime) et soumise au feu pendant 2 heures, aurait, compte tenu des sécurités réglementaires actuelles en Europe, moins de 5% de probabilité d'atteindre la rupture. Un camion d'essence qui s'enflammerait sous un ouvrage en bois aurait des conséquences moins désastreuses que sous un ouvrage métallique. Le risque essentiel des ponts en bois, hormis le cas des ouvrages constitués de petits éléments qui restent sensibles, est à ce niveau, celui des assemblages métalliques s'ils ne sont pas protégés comme dans les autres ponts.

1.3. L'économie d'un projet en bois :

Le coût de la construction :

Le coût de construction d'un ouvrage simple peut se comparer à celui d'un ouvrage en béton ou en métal, et il est tout à fait naturel que les premiers projets réalisés soient légèrement plus coûteux.



Le pont de Saint Gervais sous Meymont, pourtant jugé complexe à l'époque, à coûté 350 000 € TTC pour la structure bois et la couverture, y compris tous les détails de raccordement (joints de chaussée) et 530 000 € TTC au total en tenant compte des difficultés de terrain d'une des berges imposant 1 000 m^3 de terrassements et une fondation profonde, soit un surcoût de 10% par rapport au projet béton.

La durée de mise en œuvre :

Le bois utilise une filière sèche, hormis bien entendu les piles et fondations, et éventuellement les tabliers composites bois-béton. Ainsi, la durée de mise en œuvre peut être extrêmement rapide et on peut envisager des types d'ouvrages d'art dont la construction tous corps d'état peut s'effectuer en 3 mois (exemple précédent), un seul mois, voire moins étant alors nécessaire pour la structure bois proprement dite.
Un autre avantage provient du faible poids des structures en bois (densité = 0.45, avec un rapport résistance sur poids bien meilleur que les autres matériaux habituels). Ce faible poids permet des moyens de manutention bien plus modestes.

Le coût de l'entretien :

Le coût de l'entretien dépend de l'aspect souhaité par le maître d'ouvrage : aspect bois coloré préservé ou bois grisaillant dans le temps. Il se résume au coût des visites techniques classiques et à celui d'un entretien des couleurs si elles sont souhaitées. La technique des « planches à pourrir » utilisée de plus en plus fréquemment nécessite une intervention tous les 25 ans environ.
Le coût annuel initialement prévu pour l'entretien du pont de Saint Georges en Autriche, qui n'a subi aucune couche nouvelle, était de 1.5% du coût de l'ouvrage, il était surestimé et le budget final a été inférieur à 1%.

1.4. Pourquoi choisir un pont en bois ?

- Volonté esthétique ou structurelle : le bois est un matériau dont les qualités visuelles sont maintenant unanimement reconnues. Un pont en bois, ou à structure mixte peut s'intégrer particulièrement bien dans un paysage.
- Rapidité et facilité de mise en œuvre : ces caractères, mis en évidence précédemment, peuvent conduire à choisir ce type de solution. Ces ponts sont en général bien adaptés à certains sites difficilement accessibles.
- L'utilisation nécessaire d'un matériau renouvelable et disponible : les essences disponibles en Europe et au Québec sont tout à fait adaptées à la construction des ouvrages d'art. La nécessité de leur exploitation, permettant de développement des économies régionales doit être prise en compte.
- Les raisons écologiques, maintenant incontournables : il est inutile de revenir sur l'impact environnemental du bois sur la problématique CO2. Les analyses de cycle de vie comparées entre les différents matériaux de construction montrent l'intérêt du bois.

2. Les points clés de la conception

Ils résultent directement de la prise en compte des caractéristiques physiques et mécaniques du bois, ainsi que des problèmes liés à la durabilité et aux traitements possibles. Ces caractéristiques nécessitant un développement et des compétences spécifiques ne sont pas présentées ici.
La conception doit prendre en compte un comportement d'ensemble, du à des facteurs individuels ou simultanés.

2.1. La protection à l'eau et à l'humidité :

1ère règle : « **l'eau est l'ennemi du bois et son meilleur traitement est la matière grise** »

Ceci impose :

- Une protection de la structure principale (par couverture ou tablier étanché) : l'eau doit être considérée comme agressant directement le bois pour toute partie dont la protection n'atteint pas un angle de 30° avec la verticale.
- Un choix des essences de bois[2] en fonction de leur exposition et du mode de traitement envisagé : essence peu durables (sapin, épicéa), essences moyennement durables (pin sylvestre), essences naturellement durables (douglas purgé d'aubier, mélèze), essences naturellement très durables (azobé, ipé).
- Un choix du niveau de traitement approprié. Dans les règles de conception en France le traitement sera de type classe 2 pour les parties protégées, classe 3 pour les parties en contact avec l'eau ou la brumisation due au passage des véhicules

[2] Il est fait référence ici aux appellations des essences européennes, pour le Québec, il convient de vérifier les classes de durabilité des essences envisagées.

sous le pont, classe 4 pour les parties pouvant constituer une rétention d'eau même courte.
- Un choix de l'essence compatible avec le type de traitement retenu qui peut aller de l'imprégnation en surface, à l'imprégnation à la créosote, en passant par des imprégnations en autoclave. Il est utile de rappeler ici que toutes les essences ne sont pas imprégnables.
- L'analyse de chaque détail de construction et d'assemblage (dispositions constructives), si l'eau pénètre, elle doit pouvoir ressortir rapidement.

2ème règle : « **la qualité technologique d'un ouvrage en bois est avant tout dans les détails** »

2.2. Prise en compte des phénomènes de retrait-gonflement :

Si l'acier présente des dilatations thermiques, le bois a un retrait ou gonflement transversal de l'ordre de 1 cm pour une variation d'humidité de 5%. Pour éviter l'apparition de fentes qui peuvent avoir des conséquences sur les capacités mécaniques et sur la durabilité (entrées d'eau), il convient :

- De mettre en œuvre des poutres dont le degré d'humidité est égal ou proche, voir légèrement inférieur, à l'humidité d'équilibre bas en situation.
- De ne pas effectuer de grands assemblages (encastrements, continuité) s'opposant au libre mouvement du bois, c'est le cas dans les assemblages bois-métal par exemple.
- De permettre à la structure les libres mouvements dus à ces phénomènes (tassements négatifs, joints de chaussée adaptés, etc.…), sauf pour les structures volontairement bridées transversalement.
- De tenir compte des différentiels de dilatation thermique dans l'utilisation du bois en structure mixte bois-métal ou bois-béton ou en structure mixte connectée bois-béton. Le bois est dimensionnellement insensible à la température contrairement aux autres matériaux, ce qui peut conduire à des modifications d'efforts et de contraintes importantes, tout particulièrement dans les structures hyperstatiques, ou à des déformations non négligeables.

2.3. La bonne utilisation mécanique du bois :

Compte tenu de sa structure macroscopique et microscopique, le bois est un matériau composite dont la structure est très proche d'une structure en « nid d'abeilles », l'axe préférentiel étant l'axe de croissance en auteur de l'arbre (axe longitudinal). L'organisation cellulaire du bois lui confère un comportement mécanique d'un matériau élastique et anisotrope. Au plan mécanique, on en déduit :

- Une grande résistance aux efforts normaux, la résistance à la traction étant toutefois perturbée par les singularités du matériau (nœuds).
- Une faible résistance au cisaillement longitudinal du à l'effort tranchant, par suite du glissement des fibres les unes par rapport aux autres.
- Une grande fragilité aux efforts transversaux (traction, compression), sauf à l'effort tranchant.

En conséquence :

- Les sollicitations significatives de traction transversale doivent être proscrites, ce qui doit conduire à l'élimination des structures à intrados cintré vers le haut et fortement tendu (poutres dites poutres « bananes »).
- Un bon modèle doit éviter les efforts tranchants trop importants dans les éléments, d'où l'intérêt, déjà ancien, pour les structures porteuses à treillis, ou doit avoir un dimensionnement du aux sollicitations de flexion proche ou supérieur à celui dû aux sollicitations de cisaillement.

3ème règle : « **bannir les contraintes en traction transversale** ».

2.4. Les nouvelles tendances en matière de tablier

Les tabliers en bois plein avec revêtement asphalté :

Ces tabliers sont pour la plupart sensibles aux variations d'humidité différentielles, ainsi qu'au fluage, et leur environnement doit être pris en compte.

- Tabliers en bois non précontraint. Ils peuvent être réalisés en bois lamellé-cloué. Ces tabliers sont constitués de planches à chant cloués entre elles. Ils peuvent être constitués de planches dans le sens longitudinal de la chaussée, avec joints d'abouts répartis, ou dans le sens transversal, souvent alors sans joint d'about (planches d'une seule longueur). Ces tabliers peuvent également être réalisés en lamellé-cloué avec des planches obliques sous la face inférieure et sur la face supérieure. Cette technique permet d'augmenter l'effet de membrane (contreventement et stabilité transversale). Elle joue aussi un rôle important dans la stabilisation des dimensions du tablier.

- Tabliers en bois précontraint. Ces tabliers sont très communs aux USA et au Canada, à l'origine en bois lamellé-cloué. Ils sont utilisés depuis quelques années en suisse, où ont été créés les tabliers lamellé-collé précontraints et où des progrès techniques très significatifs concernant le comportement de ces tabliers ont été réalisés. Ces tabliers ont nécessité une retension après fluage, mais l'apparition du collage par résine des barres de précontrainte entraine une bien meilleure résistance à la corrosion et un meilleur comportement aux charges ultimes.

Les tabliers composites bois-béton :

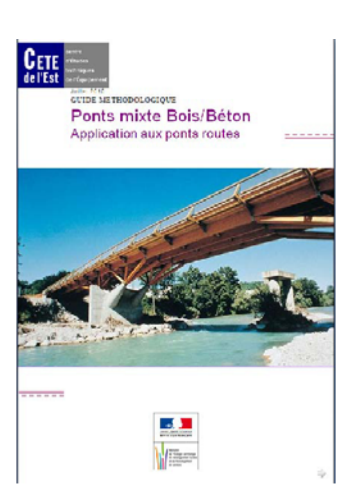
Les tabliers bois-béton existent depuis longtemps aux Etats-Unis, d'abord sous forme de tabliers lamellé-cloués avec une surface constituée d'une mince couche de béton asphaltique, puis en utilisant une importante couche de béton armé connectée pour accroître l'action prise en compte depuis une période courte.
Des évolutions sont en développement en Europe : utilisation de partie bois plus stables par utilisation de systèmes de post-tension, utilisation de systèmes de connections plus efficaces, utilisation de béton à forte adhérence, etc.

3. Les ponts en bois pour l'avenir

L'Europe, consciente de l'intérêt environnemental du bois s'applique aujourd'hui à multiplier les initiatives pour développer l'usage du matériau dans la construction des ponts. C'est incontestablement la Suisse avec 957 ponts référencés[3] aujourd'hui qui en est la figure de proue. En France, le Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des infrastructures et des transports, l'Ecole des Ponts, le Laboratoire Central des Ponts Chaussées, l'association française du génie civil, le CETE (Centre d'études techniques de l'équipement), le SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) organisent, maintenant régulièrement, avec l'appui de l'ENSTIB des journées techniques sur la conception et la gestion des ouvrages d'art en bois. C'est bien entendu les préoccupations environnementales qui sont à l'origine première de cette redécouverte du bois dans la réalisation d'ouvrages de franchissement. Les analyses de cycle de vie, aujourd'hui disponibles, dans le domaine des techniques de construction des ponts[4], ont aussi contribué à cette prise de conscience. La généralisation de l'Eurocode (EC5) a permis aussi une avancée très significative, faisant du bois un matériau de construction comme les autres. C'est un ensemble d'initiatives qui voient le jour, dont la parution régulière de guides techniques qui n'en sont que la partie la plus visible. Ces guides sont destinés aux maîtres d'œuvres (ingénieurs et architectes), aux maîtres d'ouvrage, aux étudiants des écoles, universités et instituts centrés sur le génie civil et aux entreprises. Ils visent à mettre à disposition des professionnels les éléments de conception qui leur permettent de se lancer dans la conception et la construction d'ouvrages d'art en bois (passerelles ou ouvrages courants routiers).







Les objectifs sous-tendus visent aussi à revaloriser un matériau (le bois) et des savoirs faire anciens, valoriser son usage et faire évoluer les techniques dans le cadre de structures composites, limiter son usage à des domaines adaptés, contribuer à une meilleure utilisation de nos ressources naturelles.

Cet ensemble d'éléments de conception s'appuient bien entendu sur les nombreuses avancées techniques et scientifiques de ces dernières décennies, mais avant tout une nouvelle approche de la conception des ouvrages qui expliquent cette possibilité qu'offre le

---

[3] http://www.swiss-timber-bridges.ch

[4] Bouhaya, Le Roy, Feraille, Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 2066-2071

bois. Les craintes légitimes sur la durabilité des structures en bois trouvent aujourd'hui une réponse dans la phase de conception. Elles trouvent aussi une autre forme de réponse dans l'histoire qu'il convient de lire avec beaucoup d'attention, c'est ce que nous nous sommes efforcés de montrer dans cet article.



1er pont « privé » en bois, en France. 2010
Scierie SIAT-BRAUN à Urmatt.
Tout véhicules, 70 tonnes, portée 17 m, sapin massif local, pont à poutre treillis. Ce pont surplombe la voie SNCF



Pont « Ruisseau Brosseau », Québec, 175 tonnes, portée 15,4 m
Il est constitué de 8 poutres de lamellé-collé de 0.94m de hauteur, largeur 0.18m, longueur 17m

A la question posée : « *les ponts en bois, mythe ou possibilité ?* », la réponse est assez claire. Si le terme mythe est souvent employé pour désigner une croyance manifestement erronée, en matière d'ouvrage d'art en bois, l'histoire du monde nous montre bien la réalité des possibles.
Notre futur proche, de toute manière, amènera tous les concepteurs à se réinterroger sur les matériaux du génie civil, et dans ce contexte, le bois y trouvera tout naturellement sa place et les pays forestiers un avantage certain.

Bibliographie :

« *Les ponts en bois* », et « *Bois, matériau pour les ponts* », cours donné à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, D.Calvi et P.Triboulot.
« *Construire des ponts au XVIIIème siècle – l'œuvre de JR. Perronnet* », Presses des Ponts et Chaussées, 1987.
« *Conception des ponts* », A.Bernard-Gelly et J.R. Calgaro, Presses des ponts et Chaussées.
« *Bridges* », D.J. Brown, Macmillan Publishing Company, New York, 1993
« *Timber bridges – from tradition to future technological challenges* », Prof. E.Gehri, Chair of Wood Technology – Swiss Federal Institut of technology – Zurich.
« *Conception et gestion des ouvrages d'art en bois, les nouvelles avancées* », ENSTIB, CETE de l'Est, AFGC, 30 novembre 2010, Epinal.